

01.07.2003



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

REC'D 18 JUL 2003	
WIPO	PCT

**Aktenzeichen:** 102 29 311.2  
**Anmeldetag:** 29. Juni 2002  
**Anmelder/Inhaber:** LEYBOLD VAKUUM GMBH,  
Köln/DE  
**Bezeichnung:** Refrigerator mit Regenerator  
**IPC:** F 25 B 9/14

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 30. Mai 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Weihmayer

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## **Refrigerator mit Regenerator**

Die Erfindung bezieht sich auf einen Refrigerator mit einem Gehäuse, mit einem zylindrischen Arbeitsraum, mit einem zylindrischen Verdränger, mit einem zwischen dem Gehäuse und dem Verdränger befindlichen Spalt, mit einem im Verdränger befindlichen Regenerator und mit einer Einrichtung zur alternierenden Versorgung des Arbeitsraumes mit Hochdruck- und Niederdruck-Arbeitsgas.

Refrigeratoren sind Tieftemperatur-Kältemaschinen, in denen thermodynamische Kreisprozesse ablaufen (vgl. z.B. die US-PS 29 06 101). Ein einstufiger Refrigerator umfasst im wesentlichen einen Arbeitsraum mit einem Verdränger. Der Arbeitsraum wird alternierend mit einer Hochdruck- und einer Niederdruckgasquelle verbunden, so dass während der erzwungenen Hin- und Herbewegung des Verdrängers der thermodynamische Kreisprozess (Stirling-Prozess, Gifford-McMahon-Prozess usw.) abläuft. Dabei wird das Arbeitsgas in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Die Folge ist, dass einem bestimmten Bereich des Arbeitsraumes und des Verdrängers Wärme entzogen wird. Mit zweistufigen Refrigeratoren dieser Art und Helium als Arbeitsgas lassen sich z. B. Temperaturen bis weit unter 10° K erzeugen.

Wesentlicher Bestandteil eines Refrigerators ist der Regenerator, durch den das Arbeitsgas vor und nach der Entspannung strömt. Der Regenerator befindet sich üblicherweise innerhalb des im wesentlichen zylindrisch gestalteten Verdrängers. Der Regeneratorwerkstoff muss zum einen gut wärmespeichernde Eigenschaften haben, damit ein ausreichend hoher Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsgas und dem Regenerator stattfindet. Zum anderen müssen sowohl der Verdränger, insbesondere das Verdrängergehäuse, als auch das Zylindergehäuse schlecht wärmeleitend sein, da sonst die auf der kalten Seite des Arbeitsraumes und des Verdrängers entzogene Wärme durch Wärmeleitung schnell wieder ersetzt würde.

Es ist bekannt, als Werkstoff für das Zylindergehäuse Edelstahl einzusetzen. Edelstahl hat bei den hier betroffenen sehr tiefen Temperaturen eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. Allerdings scheidet Edelstahl als Werkstoff dann aus, wenn der Refrigerator im Bereich von Magnetfeldern eingesetzt wird (z.B. in Kernspintomographen). In solchen Fällen besteht das Zylindergehäuse aus Novetex (kunststoffgetränkte Baumwollfaser) oder Werkstoffen mit ähnlichen Eigenschaften. Novetex hat sich insbesondere als Werkstoff für das Verdrängergehäuse bewährt. Als Regeneratormaterialien sind Netze, Kugeln oder Wolle aus Bronze (vorzugsweise für die erste Stufe) und Bleikugeln (vorzugsweise für die zweite Stufe) bekannt.

Bei Refrigeratoren der hier betroffenen Art lässt es sich nicht vermeiden, dass auch im Spalt zwischen Gehäuse und Verdränger ein Gasstrom stattfindet. Dieser

hat ebenfalls die nachteilige Wirkung, dass er zum Wärmeaustausch zwischen dem kalten und dem warmen Ende des Verdrängers beiträgt. Der Wärmeeintrag in die Expansionskammer (kaltes Ende des Arbeitsraumes) reduziert die Leistungsfähigkeit des gesamten Refrigerators.

Um den Gasstrom durch den Spalt im Vergleich zum Gasstrom durch den Regenerator klein zu halten, sind die Konstrukteure von Refrigeratoren der hier betroffenen Art bisher den Weg gegangen, diesen Spalt möglichst eng zu gestalten und/oder Dichtungen einzusetzen. Maßnahmen dieser Art sind aufwendig und damit kostspielig. Dieses gilt insbesondere für die Dichtungen, die ihre Aufgabe bei den extrem tiefen Temperaturen erfüllen müssen. Sie bestehen üblicherweise aus Kunststoffen, die mit zunehmender Laufzeit schrumpfen. Die Einhaltung enger Toleranzen ist nicht möglich.

Ein Refrigerator der eingangs erwähnten Art ist aus der US-A-54 81 879 bekannt. Um die mit der Spaltströmung verbundenen Nachteile zu reduzieren, wird vorgeschlagen, entweder die Außenfläche des Verdrängers oder die Innenfläche des Gehäuses mit einem oder mehreren wendelförmigen Nuten auszurüsten. Durch diese Maßnahme soll erreicht werden, dass sich die Gase länger im Spalt aufhalten, so dass ein verbesserter Temperaturausgleich zwischen dem strömenden Gas und den angrenzenden Bauteilen stattfindet. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass der Spalt immer noch relativ eng sein muss, um zu erreichen, dass das Gas wendelförmig strömt. Außerdem findet ein schneller Wärmetausch zwischen dem Gas und den angrenzenden Bauteilen nicht

statt, da diese aus Werkstoffen bestehen, die nicht nur - wie bereits erwähnt - über eine geringe Wärmeleitfähigkeit sondern auch über eine geringe Wärmespeicherkapazität verfügen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, einen Refrigerator der eingangs erwähnten Art zu schaffen, bei dem die mit den Spaltgasströmen verbundenen Nachteile beseitigt sind.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale der Patentansprüche gelöst.

Durch die Maßnahmen nach der Erfindung wird der Spaltgasstrom vollständig regeneriert. Die beim Stand der Technik im wesentlichen nicht existierende Wärmespeicher- bzw. Regenerationsfähigkeit der Spaltumschließungsflächen wird bei einem Refrigerator nach der Erfindung durch die Einbettung eines Materials mit hoher Wärmekapazität in die Spaltumschließungsflächen, z.B. auf der Außenseite des Verdrängers und/oder auf der Innenseite des Zylindergehäuses, geschaffen. Die Leistungsfähigkeit des Refrigerators wird nicht nur dadurch verbessert, dass ein unerwünschter Wärmeeintrag in den Expansionsraum nicht mehr stattfindet, sondern auch dadurch, dass der beim Stand der Technik im wesentlichen allein wirksame, den Regenerator des Verdrängers durchströmende Gasmassenstrom durch den regenerierten Spaltgasmassenstrom erhöht wird.

Zweckmäßig ist die Speicherfähigkeit des Spaltgasregenerators so bemessen, dass der Spaltgas-Massenstrom mit

zunehmender Laufzeit des Kaltkopfes größer werden kann, ohne dass es zu Leistungseinbußen des Kaltkopfes kommt. Die erforderliche Dichtwirkung zwischen Verdränger und Zylinderwand unterliegt bei der Verwendung eines Spaltgasregenerators völlig neuen Betriebsbedingungen. Im Prinzip ist es unwichtig, wie groß der Spaltgas-Massenstrom ist. Es muss lediglich immer soviel Wärme an den Spaltgasregenerator abgegeben werden, dass der Spaltgas-Massenstrom den Expansionsraum im wesentlichen mit der Temperatur des Expansionsraumes erreicht. Ein Refrigerator nach der Erfindung kann wesentlich unkomplizierter aufgebaut werden; vor allem die Dichtung kann deutlich vereinfacht werden oder gar entfallen. Neben einer Fertigung mit einfach zu realisierenden Maßvorgaben, kann man zusätzlich auf "Standard-Dichtungsringe" zurückgreifen. Der Kühler wird hierdurch billiger, einfacher und langlebiger.

Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der erfindungsgemäßen Idee in der zweiten Stufe eines zweistufigen Refrigerators.

Weitere Vorteile und Einzelheiten sollen an Hand von in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert werden. Es zeigen

- Figur 1 einen zweistufigen Refrigerator nach dem Stand der Technik,
- Figur 2 einen Teilschnitt mit einem Spaltgas-Regenerator nach der Erfindung,

- Figur 3 einem erfindungsgemäß ausgebildeten einstufigen Refrigerator und
- Figur 4 eine weitere Lösung für die Gestaltung eines Spaltgas-Regenerators.

In der Figur 1 ist ein zweistufiger Gifford-McMahon-Refrigerator 1 nach dem Stand der Technik dargestellt. Im Gehäuse 2 ist in nicht näher dargestellter, an sich bekannter Weise ein Ventilsystem untergebracht, das in einer bestimmten Reihenfolge eine Hochdruck- und eine Niederdruckgasquelle, die an den Anschlussstutzen 3 und 4 angeschlossen sind, mit den Kanälen 5, 6 und 7 verbindet. Der Kanal 6 mündet in einen Zylinder 8, in dem sich ein mit dem Verdränger 9 der ersten Stufe 11 des Refrigerators befindlicher Antriebskolben 12 befindet. Anstelle des Kolbenantriebs kann auch ein Kurbelantrieb eingesetzt werden. Ein den Kolben 12 gegenüber der Innenwand des Zylinders 8 abdichtender Ring ist mit 13 bezeichnet. Mit Hilfe dieses Antriebs wird der Verdränger 9 im vom zylindrischen Gehäuse 14 gebildeten Arbeitsraum 15 hin- und herbewegt. Über den Stift 16 ist der Verdränger 17 der zweiten Stufe 18 des Refrigerators mit dem Verdränger 9 der ersten Stufe verbunden, so dass auch der Verdränger 17 der zweiten Stufe im vom zylindrischen Gehäuse 19 gebildeten Arbeitsraum 21 eine Hin- und Herbewegung ausführt. Die Achse des gesamten Systems ist mit 10 bezeichnet.

Die Verdränger 9 und 17 sind im wesentlichen zylindrisch gestaltet. Ihre Gehäuse 22 und 23 bilden Hohlräume 20a bzw. 20b, die der Unterbringung der Regenera-

toren dienen. Sie bestehen z. B. aus Bronzenetzen in der ersten Stufe und aus Bleikugeln in der zweiten Stufe.

Über die Kanäle 5 und 7 wird das Arbeitsgas zu- bzw. abgeführt. Es strömt über die Bohrungen 24, durch den Regenerator des Verdrängers 9 und durch die Bohrungen 37 in den Expansionsraum 25, welcher der untere Teil des Arbeitsraumes 15 ist. Dort expandiert es und entzieht diesem Bereich der ersten Stufe 11 des Refrigerators Wärme. Das vorgekühlte Gas strömt weiter durch die Bohrung 27 im Verdränger 17 der zweiten Stufe 18, durch den im Innenraum 20b dieses Verdrängers 17 liegenden Regenerator und durch die Bohrung 28 am unteren Ende des Verdrängers 17 in den Expansionsraum 29 der zweiten Stufe 18. Dort erfolgt eine weitere Expansion mit diesen Bereich der zweiten Stufe abkühlender Wirkung. Über den gleichen Weg strömt das Gas zurück und kühlt die Regeneratormaterialien ab, so dass die im nächsten Zyklus wieder einströmenden Gase im Regenerator bereits vorgekühlt werden. Zur Abdichtung der Verdränger 9 und 17 gegenüber ihren zugehörigen Kammerwandungen 14 und 19 dienen Dichtringe 31 und 32, die in Außennuten 33 und 34 der Verdrängerwandungen untergebracht sind. Die Spalte zwischen den Verdrängern 11, 17 und den zylindrischen Gehäusen 14, 19 der Arbeitsräume 15, 21 sind mit 36 bzw. 38 bezeichnet.

Figur 2 ist eine stark schematisierte Teilskizze mit einer Lösung nach der Erfindung, die sowohl in der ersten als auch in der zweiten Stufe eines Refrigerators nach Figur 1 eingesetzt werden kann. Durch Doppelpfeile

41 im Regenerator (im Hohlraum 20a, 20b des Verdrängers 9 bzw. 17) bzw. 42 (im Spalt 36, 38) sind der Hauptgasmassenstrom und der Spaltgasmassenstrom angedeutet. Dem Spaltgasmassenstrom 42 ist ein zusätzlicher Regenerator 43 zugeordnet. Es handelt sich um eine in axialer Richtung einlagige Drahtwicklung, die spaltseitig in die Gehäusewand 22, 23 des Verdrängers 9, 17 eingebettet ist. Sie besteht für den Fall des Einsatzes des weiteren Regenerators 43 in der ersten Stufe 9 z.B. aus Bronze (?), für den Fall des Einsatzes in der zweiten Stufe z.B. aus Blei. Es ist zwar noch eine Dichtung 31, 32 dargestellt; hohen Dichtheitsanforderungen muss sie nicht mehr genügen. Sie kann sogar entfallen, wenn sichergestellt ist, dass der Spaltgasmassenstrom im wesentlichen vollständig regeneriert wird.

Figur 3 zeigt eine einflutige Ausführung eines Refrigerators 1. Im Gegensatz zur Lösung nach Figur 2 ist der Spaltgasregenerator 43 Bestandteil der Gehäusewand 14 des Refrigeratorgehäuses. Falls nötig können Spaltgasregenatoren 43 der beschriebenen Art auch beidseitig der Spalte 36, 38 angeordnet sein.

Figur 4 zeigt schließlich noch eine Ausführung mit einem Spaltgasgenerator 43, der bei der dargestellten Ausführungsform in den Verdränger 17 der zweiten Stufe 18 integriert ist, und zwar im Bereich seines warmen Endes. Dazu ist im Gehäuse 23 des Verdrängers 17 ein Hohlraum 44 vorgesehen, in dem sich Regeneratorwerkstoff befindet. Über axial beabstandete Radialbohrungen 45, 46 steht der Hohlraum 44 eintrittsseitig und austrittsseitig mit dem Spalt 38 in Verbindung. Zwi-

schen den Mündungen der Radialbohrungen 45, 46 in den Spalt 38 befindet sich eine Dichtung 47. Diese Dichtung muss ebenfalls keinen hohen Dichtheitsanforderungen genügen. Es muss lediglich sicher gestellt sein, dass die Druckdifferenz, die von der Dichtung 47 erzeugt wird, größer ist als die Druckdifferenz, erzeugt vom Regenerator 43. Dadurch wird erreicht, dass die von der warmen Seite des Verdrängers 17 zu seiner kalten Seite durch den Spalt 38 strömenden Gase nahezu vollständig den Regenerator 43 durchströmen, so dass die gewünschte Regenerationswirkung auch in Bezug auf die Spaltgase eintritt.

Um die Menge der den Spalt 38 durchströmenden Gase insgesamt zu begrenzen, kann endseitig (warmes Ende) eine weitere Dichtung 48 im Spalt 38 vorhanden sein. Bei optimierter Auslegung der Strömungswiderstände, erzeugt durch die Dichtung 47 und den Regenerator 43 kann diese Dichtung jedoch entfallen.

Im Zusammenhang mit der Lösung nach Figur 4 ist noch eine Variante zweckmäßig. Der Raum 44 kann über eine etwa axial gerichtete Bohrung unmittelbar mit dem Kanal 27 verbunden sein. Diese Lösung hat die Wirkung, dass die Druckdifferenz über die Dichtung 47 kleiner ist, insbesondere dann, wenn auf die Bohrung 45 verzichtet wird.

**Refrigerator mit Regenerator****PATENTANSPRÜCHE**

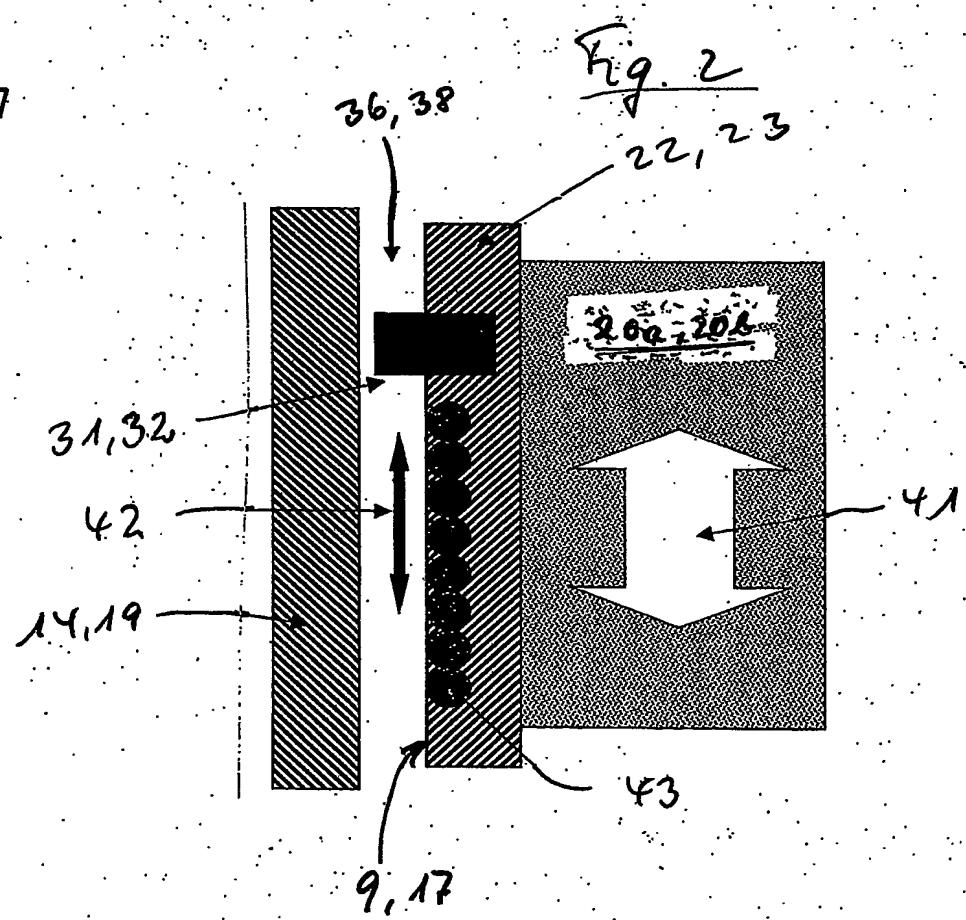
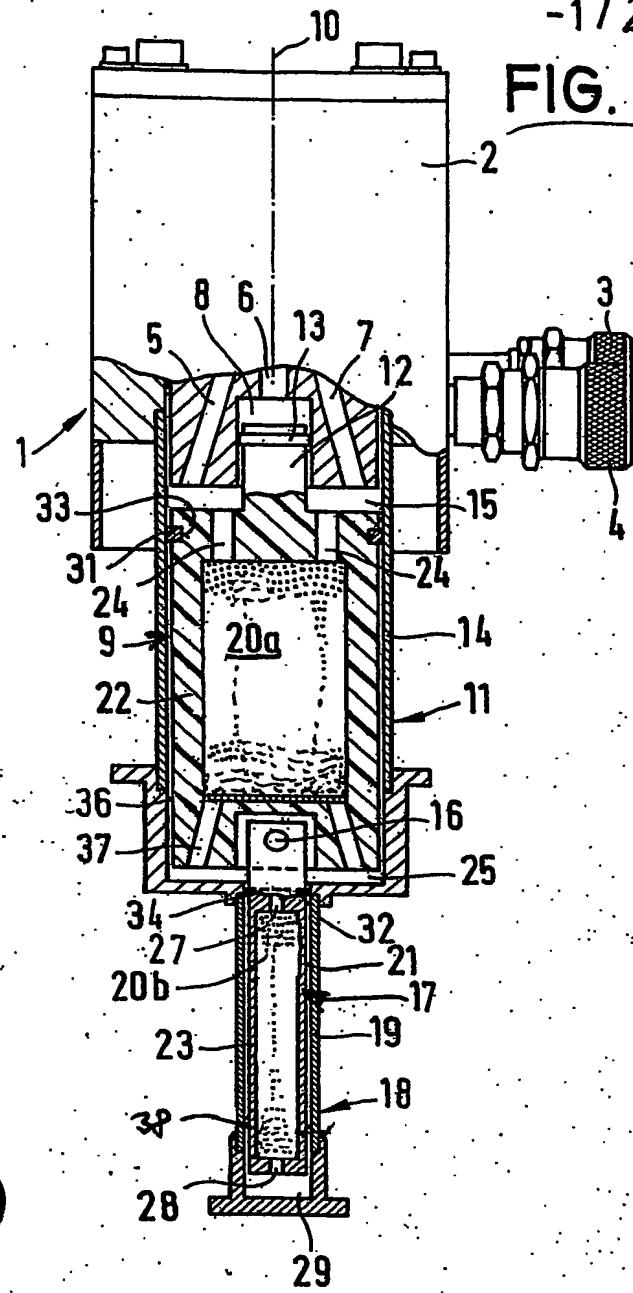
1. Refrigerator (1) mit einem Gehäuse (2, 14, 19), mit einem zylindrischen Arbeitsraum (15, 21), mit einem zylindrischen Verdränger (11, 17), mit einem zwischen dem Gehäuse und dem Verdränger befindlichen Spalt (36, 38), mit einem im Verdränger befindlichen Regenerator und mit einer Einrichtung zur alternierenden Versorgung des Arbeitsraumes mit Hochdruck- und Niederdruck-Arbeitsgas, dadurch gekennzeichnet, dass dem Spalt (36, 38) ein weiterer Regenerator (43) (Spaltgas-Regenerator) zugeordnet ist.
2. Refrigerator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er zweistufig ausgebildet ist und dass seine zweite Stufe mit dem Spaltgas-Regenerator (43) ausgerüstet ist.
3. Refrigerator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Spaltgas-Regenerator (43) eine in axialer Richtung einlagige Drahtwicklung ist, die spaltseitig in der Gehäusewand (22, 23)

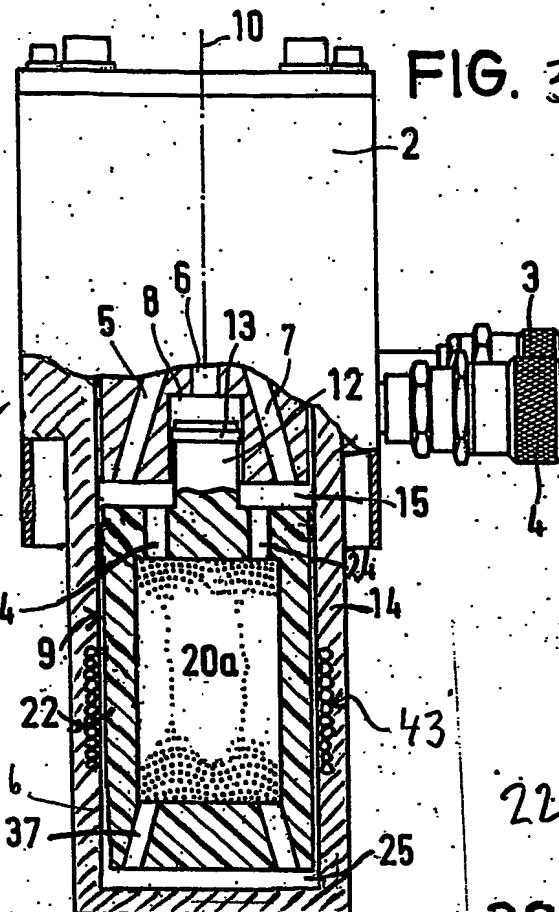
des Verdrängers und/oder spaltseitig in der Gehäusewand (14, 19) des Refrigeratorgehäuses angeordnet ist.

4. Refrigerator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Spaltgas-Regenerator (43) in einem Hohlraum (44) untergebracht ist, der sich im Gehäuse (22, 23) des Verdrängers (9, 17) befindet.
5. Refrigerator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlraum (44) über axial beabstandete Radialbohrungen (45, 46) mit dem Spalt (36, 38) in Verbindung steht, dass sich zwischen den Mündungen der Radialbohrungen (45, 46) in den Spalt (36, 38) eine Dichtung (47) befindet und dass der Druckabfall über die Dichtung (47) größer ist als der Druckabfall über den Regenerator (43).
6. Refrigerator nach Anspruch 2 und einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Hohlraum (44) für Spaltgas-Regenerator (43) im Bereich des warmen Endes des Verdrängers (18) der zweiten Stufe befindet.
7. Refrigerator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine weitere Dichtung (48) vorgesehen ist, die in Bezug auf die Lage der Dichtung (47) am warmen Ende des Verdrängers (18) befindet.

-1/2-

FIG. 1





**FIG. 3**

